

1. はじめに

1.1 背景

ストレス社会といわれる近年,睡眠障害になる人が増えてきている.日本では成人の約 5 人に 1 人,約 1500 万人から 2000 万人の人が不眠に悩んでいると言われてている[1].睡眠には疲労を回復する働きがある.そのため睡眠が量的に不足,または質的に悪化すると健康上の問題が生じてくる恐れがあり生活習慣病のリスクにつながる事が明らかになってきた.また日中の眠気がヒューマンエラーに基づく事故にもつながることが明らかになっている.そこで人間の健康状態を考える際,睡眠・覚醒のバランスの重要性が見直されている.

人間の脳は睡眠状態と覚醒状態の二つの状態が存在し,これら二つの状態をバランス良く循環させて人は生活している.覚醒状態から睡眠状態へ移行,またその逆が困難になると,バランスが崩れ睡眠障害になる.そこで覚醒状態と睡眠状態の移行をスムーズに制御する方法が必要であると考えられる.しかし現在,睡眠状態から覚醒させる研究は進んでいるが,覚醒状態から睡眠状態に移行させる研究は不十分である.

覚醒状態の維持や入眠促進の手段として,光や音,振動などが用いられている[2][3][4].振動刺激は全身振動と局所振動の 2 種類に分類される.全身振動は乗り物への乗車時のように身体全体に受ける振動であり,局所振動はマッサージ器等のように身体の一部に受ける振動である.このような振動刺激を過度に受けた場合,振動障害が誘発されることが報告されているが,それに反し,適度な振動刺激はリラクゼーション効果を生じさせるといった報告もされている.また振動というのは触覚に訴える際に最も容易に提示できる刺激である.近年 VR の発展とともに,視覚・聴覚に次ぐ第 3 の感覚として触覚が注目されている.

先行研究により,単調な振動では慣れが生じやすく,覚醒効果が弱いとされている.[5][6]また,一方の複雑性をもたせた振動では,覚醒効果はあるものの不快感が強いとされている.体感音響の分野では音楽と連動した振動が用いられ,不快感の少ない振動として有効だと考えられる.さらに,音楽のみや振動のみより,音楽と連動した振動を用いることで一番効果があるとされている.

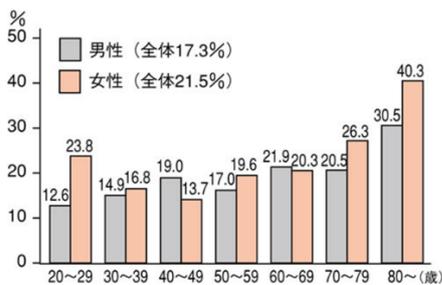


Fig. 1 不眠症の患者数 [7]

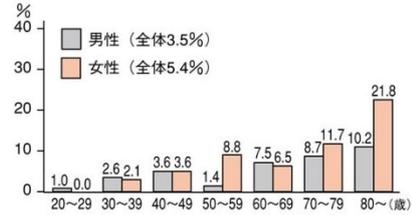


Fig. 2 睡眠薬の使用率 [7]

1.2 研究目的

本研究では身体に大きなダメージを与えずに,睡眠誘導を行うものとして,ボイスコイル型振動子による振動と音を用いたシステムを検討する.

また,現在日本では高齢者を中心とした睡眠障害において,マイスリーを中心とした睡眠導入剤が用いられている.しかし,世界的には薬物に頼らない睡眠導入が注目されている.本研究を遂行することで,振動と音による薬物に頼らない睡眠導入を実現できる可能性がある.

2. 振動コンテンツの選定

本研究では,音と連動した振動を振動コンテンツと呼ぶ.ヒーリングミュージックは,人間の癒しの感性を反映しているという知見を活かし,まずは楽曲を選定する[8].

健全な成人男性 8 名に対して,癒しと感じる楽曲 2 曲をアンケート形式で聞いた.楽曲の印象を被験者 8 名に対し,「覚醒」と「癒し」を感性評価言語対とした SD 法で評価した.その結果,「癒し」の評価が高い The Carpenters の「Yesterday once more」を用いて,振動コンテンツを作成した.また,アンケートで答えた被験者個人の癒しと感じる楽曲,一般的に癒しとされている 1/f ゆらぎを持つ海の波打ち際の音と  $\alpha$  波を含んだ音の 3 つも振動コンテンツとして作成した.これら 4 つの振動コンテンツを,脳波を用いて比較した.本研究では, $\alpha$  波と  $\beta$  波の平均電位または合計電位の比率を『癒し度』とし,式 (2.1) に示す.脳が癒されたと感じると  $\alpha$  波の値は大きくなり, $\beta$  波の値は小さくなるため癒し度の値は大きくなる事が分かる.逆に,脳が癒されないと感じると  $\alpha$  波の値は小さくなり, $\beta$  波の値は大きくなるため癒し度の値は小さくなる.この癒し度が高い振動コンテンツを本研究で用いる振動コンテンツとして選定した.

$$『癒し度』 = \frac{\alpha \text{波の含有率}}{\beta \text{波の含有率}} \quad \text{式 (2.1)}$$

その結果,一番癒し度が高かった海の波打ち際の音から作成した振動コンテンツ(波の振動コンテンツ)を用いることとした.

Table 1 被験者 A の癒し度

	Yesterday once more	被験者が癒しと感じる楽曲	$\alpha$ 波を含んだ音	海の波打ち際の際の音
覚醒状態	0.342	0.339	0.552	0.504
振動コンテンツを与えている状態	0.673	0.718	1.19	3.58
2つの状態の比	1.97	2.11	2.16	7.10

Table 2 被験者 B の結果

	Yesterday once more	被験者が癒しと感じる楽曲	$\alpha$ 波を含んだ音	海の波打ち際の際の音
覚醒状態	1.23	1.15	0.752	0.819
振動コンテンツを与えている状態	1.28	2.26	1.72	2.50
2つの状態の比	1.04	1.97	2.29	3.05

### 3. 振動コンテンツの睡眠誘導の効果

関連研究より、一般的に人は眠くなると心拍数が低下することが知られている[9]。また、脳波は低意識水準状態の分類には役立つが、覚醒時の意識水準との関係は明確でない[10]。そのため本研究では、脳波ではなく、心拍数を指標として睡眠誘導の効果を検討する。また、本研究では心拍数が低下することを睡眠誘導の効果があることとする。

被験者は、健全な成人男性 2 名を対象とし、振動子を組み込んだマッサージチェア(Fig. 3)にて心電を計測した。ABAB デザイン法を用いて、被験者に 1 桁から 2 桁の単純計算を行わせた覚醒状態 5 分と波の振動コンテンツを与えている状態 5 分を 2 回繰り返し、合計 20 分間、被験者の心電を測定した。また、同じ実験手順、同一被験者で波の振動コンテンツを与えないで、安静状態でいた時の心電も計測する。

安静状態の際の後半 10 分の実験結果を Fig. 4, Fig. 5 に示し、波の振動コンテンツを与えた際の後半 10 分の実験結果を Fig. 6, Fig. 7 に示す。また、後半 10 分の比をまとめたものを Table 3 に示す。Fig. 4~Fig. 7, Table 3 を見るとどちらの被験者も波の振動コンテンツを与えた際の方が、心拍数が低下しており、睡眠誘導の効果があることがわかる。



Fig.3 振動子を組み込んだマッサージチェア

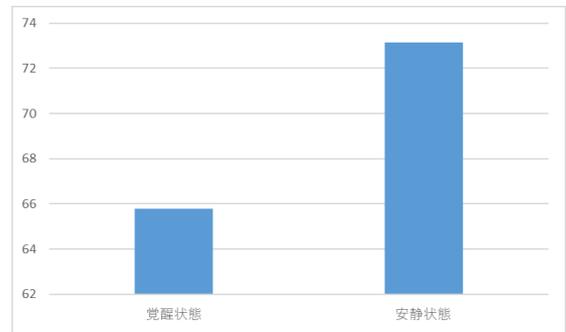


Fig. 4 被験者 A に波の振動コンテンツを与えていない際の HR の変化

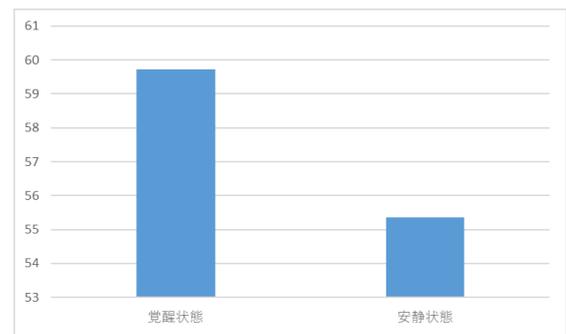


Fig. 5 被験者 B に波の振動コンテンツを与えていない際の HR の変化

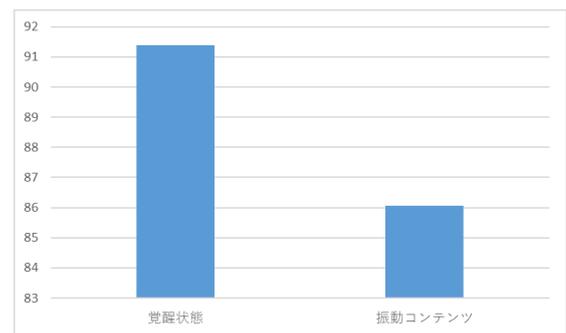


Fig. 6 被験者 A に波の振動コンテンツを与えた際の HR の変化

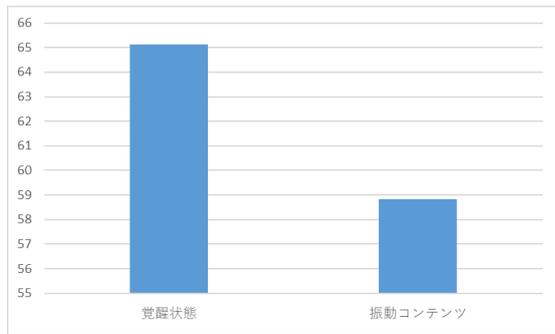


Fig. 7 被験者 B に波の振動コンテンツを与えた際の HR の変化

Table 3 後半 10 分の HR の比 (n=2)

	被験者 A	被験者 B
振動コンテンツなし	1.11	0.93
振動コンテンツあり	0.94	0.90

#### 4. 提案システムの評価実験

大学生 304 名(男性 : 134 名, 女性 : 170 名, 平均 19.8±2.36 歳)を調査対象とした関連研究より, 就寝時における音楽の利用頻度は 69.7%となっており, 約 70%以上の人が就寝途中で音楽を止めているとされている[11]. また, 音楽は本格的な睡眠に至る前に活用されていることが示されている. 経験からまどろみの状態で, 布団に入った時と同じ音量で音楽が鳴っているとうるさく感じ入眠が妨げられる. また, 急激に音が停止することも入眠が妨げられるように感じる. そのため, 振動コンテンツを与えて睡眠誘導を行うには, 眠くなるにつれて振動コンテンツを自動でフェードアウトさせるシステムが必要になると考えた.

まず, 経過時間に比例して振動コンテンツの振幅を減少させるシステムを考えた. まどろみの状態で, 布団に入った時と同じ音量で音楽が鳴っているとうるさく感じ入眠が妨げられることや, 急激に音が停止することも入眠が妨げられるように感じることもある. このことから音量の変化には気づかない方がいいと考える. 関連研究やウェーバーの法則より, 人が検知できる音の変化の比率は, 約 1dB とされている. このことより, 音量の変化は 1dB 以下の方が好ましい. また, 一般的に人が布団に入ってから眠るのに必要だと言われている時間は 15 分から 20 分である. そのため, 15 分ほどで振動コンテンツを感じなくなる事が好ましい. これらのことや, 作成した振動コンテンツは 45dB 減少させるとほとんど音を感じなくなることから, 10 秒に 1 回 0.5dB 減少させるシステムを作成した. このシステムの事をフィードフォワード(FF)システムと呼ぶことにする.

しかし, これでは眠気を考慮していない. そのため, 眠くなると心拍数が低下するという知見を活かし, チューブ型脈圧波センサより RRI(R-R Interval)を計測し, 振動コンテンツの振幅を 0.5dB 減少させるシステムを作成した. RRI は 10 秒の区間で平均値を算出し, 現在値とする. 設定値は過去の RRI の累積平均値を用いる. 設定値と現在値を比較し, 現在値が設定値より大きければ(RRI が伸びていれ

ば)操作量として振動コンテンツの振幅を 0.5dB 減少させる. このシステムをフィードバック(FB)システムと呼ぶことにする.

これら 2 つのシステムと振動コンテンツの振幅が変化せず一定のもの(const システム)の 3 つのシステムを用いて, 被験者に対してどのシステムが効果的な睡眠誘導方法か検討する. 健康者男性 1 名を被験者とし, 各システムを用いて波の振動コンテンツを被験者に与えた際の心電を計測する. 被験者は心電を計測するための電極を装着し, Fig. 8 のマットに閉眼安静状態, 仰向けで横たわる. その後, 振動コンテンツの振幅を被験者が適切と感じる強さにしてから心電の計測を始める. 実験は, 1 回 15 分で各システム 5 回ずつ行った. 心拍数と 2 つの主観評価を基に行う. 主観評価の 1 つ目は, 眠気の尺度を調査するために Kwansai Gakuin Sleepiness Scale(KSS)を実験前後に被験者に答えてもらった[12]. 2 つ目は, 振動コンテンツの振幅(以下からは振動強度とする)が適切であったかを調査するために 1~5 段階で,

1: 弱い 2: やや弱い 3: 適切 4: やや強い 5: 強い とし, 実験前後に被験者に答えてもらった.

各 5 回の平均の心拍数の結果を Table 4 に, KSS の結果を Table 5 に示す. 振動強度の結果は, FB システムが一番適切な振動強度という結果が得られた. 結果より 3 つのシステムにおいて, 入眠を妨げない効果的な睡眠誘導の方法は FB システムだと考える.



Fig. 8 提案システム

Table 4 心拍数の変化 (n=5)

	pre		post		変化率
	平均	標準偏差	平均	標準偏差	
const	59.6	5.7	58.5	4.7	1.8%
FF	58.4	1.7	57	1.2	2.4%
FB	57	5.7	55.8	4.4	2.1%

Table 5 KSS の変化 (n = 5)

	Pre		post		変化率
	平均	標準偏差	平均	標準偏差	
const	3.83	0.51	4.3	0.51	12%
FF	3.68	0.74	4.36	0.54	18%
FB	3.69	0.44	4.82	0.5	31%

## 5. まとめ

本研究ではボイスコイル型振動子を用いて、睡眠誘導の効果がある振動と音を組み合わせた振動コンテンツを作った。その振動コンテンツに睡眠誘導の効果があったことから、就寝時の眠気に応じて、ボイスコイル型振動子の振幅を減少する体感音響装置を開発した。振動子の振幅の減少なし、時間に応じて振幅を減少させる FF システム、眠気に応じて振幅を減少させる FB システムの 3 つのシステムを比較した。const システムの場合、眠気が増加した際にボイスコイル型振動子の振幅が強くて感じてしまい、入眠を妨げる原因となってしまう。また、FF システムの場合、眠気が増加する前に振幅が減少すると、振幅が弱く感じることや変化に気づいてしまい、入眠を妨げる原因となってしまう。FB システムを用いた場合、入眠を妨げないように振動と音の振幅をフェードアウトさせ、心拍数を低下させることができた。3 つのシステムにおいて FB システムを用いた場合が一番入眠を妨げずに睡眠誘導の効果があった結果になった。

このシステムは、計測が簡単に行えることから、被験者数を今後増やすことができる。そのため、今後被験者数を増やしてシステムの有用性について評価していきたい。

## 参考文献

- [1] e-ヘルスネット, 厚生労働省:  
<https://www.e-healthnet.mhlw.go.jp/information/heart/k-02-001.html>, 2020 年 2 月
- [2] 北堂 真子 :“良質な睡眠のための環境づくり -就寝前のリラクゼーションと光の活用-”, バイオメカニズム学会誌, vol. 29, no. 4, 2005
- [3] 小川 梢, 芝垣 佑美, 萩原 啓 :“心拍動間隔の変動を用いた音刺激が人の心拍動間隔の変動に与える影響”, 人間工学, vol. 44, no.6, 2008
- [4] 高野 佑樹, 萩原 啓 :“呼吸波形に基づいた接触振動圧刺激が心身に及ぼす影響”, バイオフィードバック研究, vol. 37, no. 1, pp. 45-52, 2010
- [5] 野々村 峻, 安土 光男, 橋本 秀紀 :“ボイスコイル型振動子を用いた 1/f ゆらぎ振動による癒しに関する研究”, LIFE 講演概要集, vol.2018
- [6] Shun Nonomura, Mitsuo Yasushi, Hideki Hashimoto :“Healing Effects by 1/f Fluctuating Vibration – Applications of Voice-Coil-Type Vibrator-”, IECON 2018 - 44th Annual Conference of the IEEE Industrial Electronics Society, D.C., USA, 2018
- [7] 全日本民医連 : <https://www.min-iren.gr.jp/?p=6459>, 2020 年 2 月
- [8] 岡本 恵太, 福本 誠, 松尾 一壽 :“ヒーリングミュージックのテンポと癒し効果 ヒーリングミュージックの音響的特徴により作成された単音による心理評価”, 日本感性工学会研究論文集, vol. 7, no. 2, pp. 237-242, 2007
- [9] 角田 啓介 :“心拍変動を用いた認知能力変化の推定.”情報処理学会論文誌 57.8, 1835-1844, 2016
- [10] 北島 洋樹, 沼田 伸穂, 山本 恵一, 五井 美博 :“自動車運転時の眠気予測手法についての研究 (第 1 報, 眠気表情の評定法と眠気変動の予測に有効な指標について)”, 日本機械学会論文集, vol. 63, no. 613
- [11] 岩城 達也, 田中 秀樹, 堀 忠雄 :“就寝時の音楽利用に関する探索的調査”, 日本バイオミュージック学会, vol. 17, no. 2, 1999
- [12] 石原 金由, 斎藤 敬, 宮田 洋 :“眠気の尺度とその実験的比較”, The Japanese Journal of Psychology, vol. 52, no. 6, 1982